

# SrTiO<sub>3</sub> 세라믹 캐패시터 박막의 I-V 특성

## I-V Characteristics of SrTiO<sub>3</sub> Ceramics Capacitor Thin Films.

이우선 김남오  
정용호\* 이경섭\*\*

조선대학교 전기공학과  
동신대학교 전기전자공학과\*\*

Woo-sun Lee, Nam-Oh Kim,  
Yong-Ho Chung\*, Kyung-Sup Lee\*\*

Chosun University Dept of Electrical  
Eng. Dongsin University Dept. of  
Electrical-Electronic Eng\*\*

### Abstract

We fabricated SrTiO<sub>3</sub> thin film capacitor on the Ag/Si-wafer by RF sputtering deposition. And I-V characteristics and structural analysis of the thin film capacitor are investigated. We found that the leakage current of the films during deposition is strongly dependent on the ambient gas and substrate temperature. Because of increase of activation energy, leakage current increased at high temperature and resistivity of the films was decreased. According to the increase of oxygen gas flow rate, the conductivity of thin film capacitor was increased and leakage current was decreased.

### 1. 서론

최근 산화 실리콘과 질화실리콘 박막에 대한 전기적 특성과 유전체로서의 특성에 관하여 많은 연구가 진행되어 DRAM 캐패시터로 사용되고 있으며 (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub>,<sup>[1]</sup> Ph(Zr, Ti)O<sub>3</sub> 와 (Pb, La)(Zr, Ti)O<sub>3</sub> 박막들의 DRAM의 캐패시터로 이용성이 더욱더 증대되고 있다.<sup>[2]</sup> 전자회로의 집적화로 인하여 소형화 및 대용량화의 캐패시터에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 부응하여 페로브스카이트 큐빅구조(cubic perovskite-structure)의 SrTiO<sub>3</sub> (strontium titanate)는 높은 유전상수(K = 305)와 정전용량을 가지며 온도 특성이 적고 대용량, 저손실 때문에 주로 비휘발성 메모리 셀(DRAM)<sup>[3]</sup>과 캐패시터로서 전자다바이스에 응용이 가능하여 유전 및 절연체재료로 많이 이용되고 있다. 특히 DRAM의 캐패시터<sup>[4]</sup>는 높은 유전상수와 낮은 누설전류가 요구되는데 Ph(Zr, Ti)O<sub>3</sub> 와 (Pb, La)(Zr, Ti)O<sub>3</sub> 박막과 SrTiO<sub>3</sub> 세라믹 박막<sup>[5,6]</sup>이 이용되고 있다. 또한 LSI의 소형 대용량 및 저전압화 그리고 고속화 하기 위하여 유전상수가 높은 재료가 요구 되고 있으며 높은 유전율의 박막화<sup>[7]</sup>가 요구되는 DRAM의 캐패시터는 비트당 저가격화 및 공정의 간단화와 ULSI DRAM's의 실현이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 SrTiO<sub>3</sub> 캐패시터의 VLSI 반도체 다바이스에의 응용가능성으로 전기적특성을 알아 보기위해서 SrTiO<sub>3</sub> 박막과 SrTiO<sub>3</sub> 층위에 BaTiO<sub>3</sub>을 증착한박막을 아르곤과 산소가스 분위기에서 RF 스퍼터링 방법으로 실리콘 웨이퍼 위에 증착하여 Ag/SrTiO<sub>3</sub>/Si 캐패시터를 구조 설계하여 제작하고, 인가전

압과 가스 flow rate에 따른 전압-전류 특성과 누설전류 특성, 박막의 저항율 특성을 측정 하여 캐패시터 박막의 전기적인 특성을 연구 하였다.

### 2. 실험 방법

캐패시터 제작을 위한 실험에서는 RF스퍼터링 장치와 진공증착기(Vacuum Science VSSE-2TS)를 이용하여 페로브스카이트(perovskite)구조의 SrTiO<sub>3</sub>와 SrTiO<sub>3</sub>와 BaTiO<sub>3</sub>을 결합시킨 캐패시터 박막을 실리콘 웨이퍼(N-Type 100)위에 증착하고 전기적인 특성을 실험 하였다. VSSE-2TS에 의하여 SrTiO<sub>3</sub> 박막은 3.334Å/sec 속도로 증착 하였으며 상하부 전극은 Ag를 진공증착 방법으로 증착하여 실험을 하였다. 스퍼터 전원으로는 최대전력 300W, 13.56MHz의 RF전력을 사용 하였으며 파워메터와 임피던스 매칭기를 사용하여 반응로의 음극으로 방전을 계속 유지 하였으며 진공펌프로서 로터리 펌프로 10<sup>-3</sup> Torr까지 배기한 후 확산 펌프를 가동하여 10<sup>-6</sup> Torr까지 배기한 후 작용가스를 주입하여 약 10<sup>-3</sup> Torr 대역에서 스퍼터 전력을 공급하여 플라즈마를 발생시켜 박막을 증착 하였다. 반응기체로는 아르곤과 산소를 사용 하였으며 증착시 반응 기체는 로터리 펌프와 확산 펌프를 통해 배기시켰다. 이 때 확산 펌프와 스퍼터 건(gun) 및 기관에 냉각수를 공급하여 과열되지 않도록 하여 RF전력을 조절 하였다. 유전체 박막의 누설전류와 컴퓨터에 의해서 자동 조정되는 면저항은 Semiconductor Parameter Analyzer(HP4145A)로 측정 하였다. 실험에서 사용된 Target(USA Cerac. Co.)의 직경 5.08cm, 두께 0.98cm, 순도 99.95%의 SrTiO<sub>3</sub>와 BaTiO<sub>3</sub>을 사용하였고 순도 99.99%의 Ag 파우더를 전극으로 증착하여 사용하였으며 Si-wafer (N-type)을 사용하였다. 플라즈마 방전시에 약 1분간 프리 스퍼터링을 실시하여 타겟 표면의 불순물을 셔터로 차단하여 제거 하였다. 시료는 기관온도의 조건을 달리하여 3.334Å/sec 증착속도로 SrTiO<sub>3</sub> 와 BaTiO<sub>3</sub> 박막의 증착두께를 조절 하였으며 각각의 시료는 반응가스의 조건에 따라서 아르곤과 산소를 사용하였고 전극은 Ag를 사용 하였다. 캐패시터 박막의 증착시 기관온도는 50~200°C, 가스압력 1/1(1/min), 증착가스 10/0~2/8(Ar/O<sub>2</sub>), 입력전력 100~200(W), 타겟과 기관거리 35(mm), 타겟직경 50.8(mm), 증착율 33.5/1(Å/sec)의 범위에서 Ag/SrTiO<sub>3</sub>/Si 박막을 증착 하였다.

### 3. 실험결과 및 검토

박막 두께 1000Å의 경우와 2000Å의 경우에 SrTiO<sub>3</sub> 캐패시터 박막의 기판온도 증가와 인가전압(0~20V)에 따른 누설전류의 특성곡선을 그림2(a)에 나타낸다. SrTiO<sub>3</sub> 박막 캐패시터가 인가전압 20V에서 박막 두께가 1000Å일때 50℃에서는 0.00081(A/cm<sup>2</sup>)이었으며 100℃에서는 0.00391(A/cm<sup>2</sup>)로 나타났으며 2000Å에서 50℃와 100℃의 박막 캐패시터의 누설 전류값은 0.00172(A/cm<sup>2</sup>)와 0.00475(A/cm<sup>2</sup>)로 되어 50℃ 1000Å일때 누설전류가 가장 적게 흘렀으며 100℃ 2000Å에서 누설전류가 가장 높게 나타났다. 즉 기판온도가 높을수록 박막의 두께가 증가 할 수록 누설전류는 크게 나타나고 있다. 그리고 인가전압 5V까지 박막의 온도와 두께에 영향을 받지않고 5V이상의 전압에서 부터 누설전류는 지수함수적인 증가를 보였다.

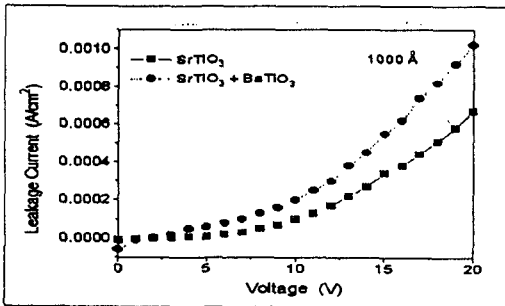


그림1 SrTiO<sub>3</sub>와 SrTiO<sub>3</sub>+SrTiO<sub>3</sub> 박막의 인가전압에 따른 누설전류의 특성곡선

SrTiO<sub>3</sub> 박막과 SrTiO<sub>3</sub> 위에 BaTiO<sub>3</sub>을 증착한 박막의 두께가 1000Å일때 인가전압을 0V에서 20V까지 증가시켰을 경우에 누설전류의 변화 관계를 그림1에 나타낸다. SrTiO<sub>3</sub> 박막 캐패시터가 SrTiO<sub>3</sub>위에 BaTiO<sub>3</sub>를 직렬로 증착한 박막 캐패시터가 누설전류가 많이 흐르고 이 두 박막은 누설전류가 증가하는 영역이 다르게 나타나고 있다.

인가전압 5V에서 부터 SrTiO<sub>3</sub>+BaTiO<sub>3</sub>박막의 누설전류는 증가추세를 보이고 있으며 SrTiO<sub>3</sub>박막은 약 7.5V 이상에서 부터 지수 함수적 증가를 보이고 있다. 그리고 20V에서 이 두 박막은 각각 0.000614 (A/cm<sup>2</sup>)과 0.00096(A/cm<sup>2</sup>)을 보이고 있다. 이와 같이 두박막의 누설전류의 차이는 이온의 인가전제에 의한 이동의 차이가 이온안정 위치간의 활성화 호핑전도(hopping)가 전체방향과 반대방향으로 호핑확률의 차이가 생겨 이온의 이동이 일어나 누설 전류값의 차이가 생기며 증가하는 영역이 서로 다르게 지수 함수적으로 증가의 차이를 보이고 있다고 생각된다.

SrTiO<sub>3</sub> 박막 캐패시터의 전압에 따른 면저항의 관계를 1000Å의 경우와 2000Å의 경우에서 각각 50℃와 100℃ 일때의 면저항 변화를 그림2에 나타낸다. 이 경우에 인가전압이 5V에서의 박막의 증착시 기판온도가 50℃일때 1000Å에서는 면저항이 가장높은 값인 520000(Ω/cm<sup>2</sup>)이었으며 2000Å에서는 425000(Ω/cm<sup>2</sup>)를 나타 내었다. 또 기판온도가 100℃일때 1000Å에서는 면저항값이 171000(Ω/cm<sup>2</sup>)를 나타내고 2000Å에서는 면저항이 가장낮은 62000(Ω/cm<sup>2</sup>)를 보였다. 또 인가전압이 10V에서 20V까지는 약간의 감소

를 보였으며 20V에서의 박막의 면저항값은 40000(Ω/cm<sup>2</sup>), 25000(Ω/cm<sup>2</sup>), 24500(Ω/cm<sup>2</sup>) 그리고 24000(Ω/cm<sup>2</sup>)를 나타내었다. 이 경우에 면저항은 증착시의 기판의 온도가 증가 할 수록 감소 하였으며 박막의 두께가 증가 할 수록 감소를 보였는데 온도가 증가 할 수록 면저항의 감소는 고온에서 활성화 전자가 더욱 활성화 되고 전자 이동이 활발히 일어나서 전류가 많이 흐르므로 상대적으로 감소되기 때문 인것으로 생각된다.

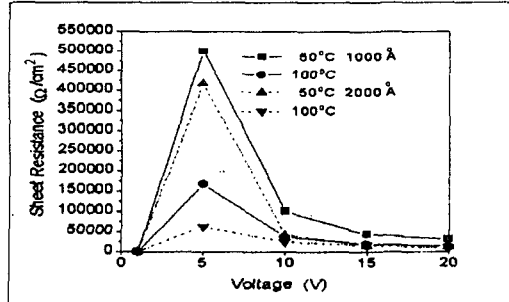


그림2. SrTiO<sub>3</sub> 박막의 온도와 두께 인가전압 증가에 따른 면저항 특성.

분위기 가스인 아르곤 가스와 산소 가스의 혼합 비율과 두께에 따른 인가전압에 따른 누설전류와의 관계를 그림3에 나타내었다. 이 때의 인가전압은 각각 15V와 20V로 하여 측정하여 증착 공정중에 주입되는 반응 가스의 flow rate가 1(l/min)일때 아르곤 가스와 산소 가스의 flow rate 비율 각각 10 : 0, 5 : 5 그리고 2 : 8로 반응 가스의 비율을 나타내었다. 15V에서 박막의 두께가 1000Å의 경우에 0.00077(A/cm<sup>2</sup>)에서 0.00028 (A/cm<sup>2</sup>)로 감소를 보였으며 2000Å일때 0.00108(A/cm<sup>2</sup>)에서 0.000409(A/cm<sup>2</sup>)로 감소하였다. 또한 20V에서 박막의 두께가 1000Å의 경우에 0.00109(A/cm<sup>2</sup>)에서 0.00039(A/cm<sup>2</sup>)로 감소 하였으며 2000Å의 경우에 0.00123(A/cm<sup>2</sup>)에서 0.0006(A/cm<sup>2</sup>)로 감소함을 보였다. 즉 반응가스의 비율에 따라서 인가전압을 주었을 때 박막의 두께가 두꺼울 수록 누설 전류값은 높게 나타났으나 산소 가스의 주입량이 많을수록 누설 전류값은 감소 를 보였다.

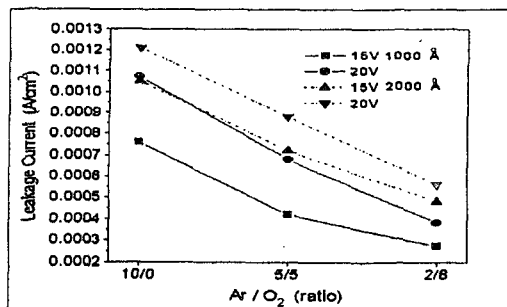


그림3. SrTiO<sub>3</sub> 박막의 가스유량 변화에 따른 누설전류 특성 곡선.

박막 증착시 기판 온도의 증가에 따른 누설전류 변화의

특성 곡선을 증착 두께를 증가 시키며 따라서 변화하는 누설 전류를 인가전압 15V와 20V에서 그림4에 나타내었다. 인가 전압 15V일때 기판 온도가 50℃에서 누설 전류값은 1000Å에서는 0.00061(A/cm<sup>2</sup>)이었으며 2000Å에서는 0.00162(A/cm<sup>2</sup>)을 나타내었고 기판온도가 200℃에서는 각각 0.001(A/cm<sup>2</sup>)와 0.00275(A/cm<sup>2</sup>)로 누설 전류값은 거의 선형적으로 증가를 보였다. 그리고 20V 일때 50℃에서 누설 전류값은 1000Å에서는 0.00121(A/cm<sup>2</sup>)이었으며 2000Å에서는 0.0038(A/cm<sup>2</sup>)의 값을 나타내어서 200℃에서 각각 0.00225(A/cm<sup>2</sup>)와 0.0048(A/cm<sup>2</sup>)로 누설 전류값은 인가전압이 높을 수록 크게 나타났으며 두께가 두꺼울 수록 크게 나타났는데 증착시의 기판온도의 증가에 따라서 누설전류의 변화는 증가되는 추세를 보였다.

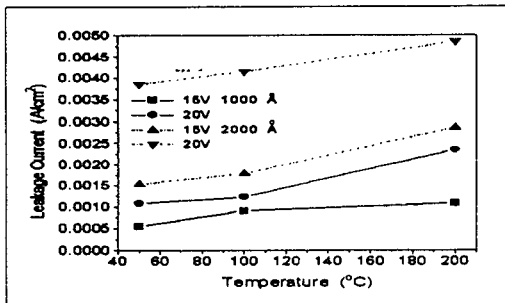


그림4. SrTiO<sub>3</sub> 박막의 기판온도 증가에 따른 누설전류 특성 곡선.

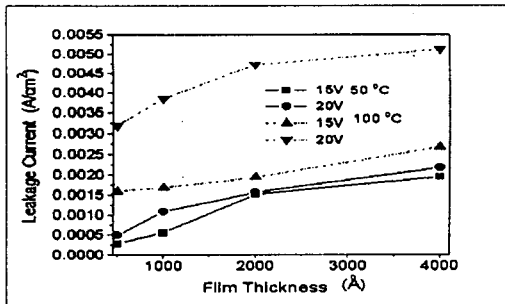


그림5. SrTiO<sub>3</sub> 박막의 두께변화에 따른 누설전류 특성 곡선.

그림5은 박막의 증착 두께 증가에 따른 누설전류의 특성 곡선을 기판의 온도 50℃와 100℃, 인가전압 15V와 20V에서 서로 비교하여 나타내었다. 인가전압 15V일때 박막의 두께가 1000Å에서 누설 전류값은 50℃에서 0.00058(A/cm<sup>2</sup>)이었으며 100℃에서는 0.0017(A/cm<sup>2</sup>)이 되었고 박막의 두께가 4000Å에서는 각각 0.00191(A/cm<sup>2</sup>)와 0.00275(A/cm<sup>2</sup>)로 누설 전류값은 두께가 증가함에 따라서 증가됨을 보이고 있다. 그리고 20V일때 두께가 1000Å에서 누설 전류값은 50℃에서 0.0012(A/cm<sup>2</sup>)와 100℃에서는 0.00385(A/cm<sup>2</sup>)로 온도가 증가함으로써 증가를 보이고 있다. 또한 4000Å에서는 온도에 따라 각각 0.00218(A/cm<sup>2</sup>)와 0.00518(A/cm<sup>2</sup>)값이 되어서 인가전압이 증가함에 따라서 높게 나타났으며 두께와 기판온도의 변화

에 의하여 누설 전류값은 증가를 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 RF 스피터링에 의해서 유전체 세라믹 SrTiO<sub>3</sub>와 SrTiO<sub>3</sub> 위에 BaTiO<sub>3</sub>을 증착한 캐패시터 박막을 제작하고 전압-전류 특성 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유전체 금지대 내의 충돌전리로 인한 열전자의 발생으로 인하여 기판온도가 높을 수록 또 박막 두께가 증가 할 수록 SrTiO<sub>3</sub> 캐패시터의 누설전류는 증가 되었다.
2. BaTiO<sub>3</sub> 박막에서 호핑전도의 발생으로 인하여 SrTiO<sub>3</sub> 캐패시터보다 SrTiO<sub>3</sub> 위에 직렬로 증착한 BaTiO<sub>3</sub> 박막의 누설 전류가 크게 되었다.
3. 고온에서 활성화 전자의 활성화 에너지 증가 때문에 박막 캐패시터의 증착시 기판온도의 의존성은 기판온도가 높을 수록 두께가 두꺼울 수록 누설전류는 높게 나타났으며 면저항값은 낮게 나타났다.
4. 산소 가스의 flow rate가 높아질 수록 산소 입자수가 증가되어 도전율이 증가하고 저항이 적어져서 누설전류는 감소 되었다.
5. SrTiO<sub>3</sub>와 SrTiO<sub>3</sub> 위에 BaTiO<sub>3</sub>을 증착한 박막의 누설전류를 비교하여 보면 낮은 기판온도와 두께가 얇을 때에는 SrTiO<sub>3</sub> 박막의 누설전류가 낮게 나타났으나 높은 기판온도와 두께가 두꺼워 질수록 SrTiO<sub>3</sub> 위에 BaTiO<sub>3</sub>을 증착한 박막의 혼정 때문에 누설전류가 낮게 나타났다.

#### 참고 문헌

- [1]. Koyama, K, Sakuma, T, Yamamichi, S., "A Stacked Capacitor with(Ba,Sr<sub>1-x</sub>)TiO<sub>3</sub> For 256MDRAM" Technical Digest of International Electron Devices Meeting (IEDM '91), pp 823-826, Dec. 1991.
- [2]. Z. W. Sun, G. Campet, "n-GaAs photoelectrodes coated with SrTiO<sub>3</sub>-based films:charge transfer mechanisms and stability" Materials Science and Engineering, B5 pp.455-464, 1989.
- [3]. K. Morii, H. Kawano, I. Fujii, T. Matsui, and Y. N akayama, "Dielectric relaxation in amphotous thin films of SrTiO<sub>3</sub> at elevated temperatures" J. Appl. Phys. 78 (3), pp.1914-1919, 1 August 1995.
- [4].Guido W. Dietz and Wolfgang Antpöhler, Mareike Klee, Rainer Waser, " Electrode influence on the charge transport SrTiO<sub>3</sub> thin films" J. Appl. Phys. 78(10), pp.6113-6121, 15 November 1995.
- [5].Ming-Hua Teh, Kuo-Shung Liu and I-Nan Lin, " Structure and dielectric properties of SrTiO<sub>3</sub> films prepared by pulsed laser deposition technique" J. Appl.Phys. Vol. 34, pp2247-2452, May 1995.
- [6].Shuren Zhang, Chaowei Zhong, Xiaoliang Qin, "A low-temperature sintered SrTiO<sub>3</sub> -based grain boundary layer ceramic with stable resistivity against applied electric field" Journal of Materials Science 14, pp1672-1673, 1995.
- [7]. T. Kuroiwa, T. Honda, H. Watarai and K. Sato, "Electric properties of SrTiO<sub>3</sub> thin film" J. Appl. Phys. Vol. 31, pp.3025-3028, September 1995.